

Ham Perlit Agregalı Hafif Beton Özelliklerine Alternatif Genleştirilmiş Perlit Kullanımının Etkisi

H. Süleyman GÖKÇE, Osman ŞİMŞEK, Gökhan DURMUŞ, İlhami DEMİR

ÖZET

Perlit, ısı yalıtım ve hafiflik özelliğinden dolayı beton agregası olarak inşaat sektöründe kullanımı ile ülke ekonomisine ve küresel ısınmaya olumlu yönde katkıda bulunan doğal yapı malzemesidir. Yapılan araştırmalar sonucunda dünya perlit rezervinin yaklaşık % 74' ünün Türkiye'de olduğu belirlenmiştir. Bu doğal kaynakların etkin kullanımı ile oldukça zor elde edilen enerjinin daha etkin kullanımının sağlanacağı düşünülmektedir. Enerji kullanımındaki bu tür yaklaşımlar çevre kirliliğinin azalmasına katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada, farklı özellikteki genleştirilmiş perlit agregalarının ham perlit agregalı hafif betonlar içinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ham perlit agregası yerine hacimce %10 oranında üç farklı özellikte genleştirilmiş perlit agregası kullanılarak 7 ayrı karışım oluşturulmuştur. Hazırlanan hafif beton karışımları ile 100x100x100 mm ebatlı küp numuneler elde edilmiştir. Bu numunelerin 28 günlük basınç dayanımı, birim hacim ağırlık ve su emme oranları test edilmiştir. Sonuç olarak, uygun özellikteki genleştirilmiş perlit agregası kullanımının perlit agregalı hafif betonların mekanik ve fiziksel özellikleri üzerinde etkili olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Perlit agregası, hafif beton, basınç dayanımı, birim hacim ağırlık, su emme oranı

Effect of Alternative Expanded Perlite Using on Properties of Raw Perlite Aggregated Light-Weight Concrete

ABSTRACT

Perlite is a natural building materials contribute to global warming positive thanks to its isolation and lightness characteristics as concrete aggregate with usage of in construction sector. In research results, about %74 of world perlite reserves was determined to be in Turkey. It is thought that energy of fairly hard obtained will provide more efficient usage thanks to efficient usage of the natural reserves. Such approaches will provide to reduce of environment pollution in the usage of energy. In this study, with different characteristic usability of expanded perlite aggregate was researched in raw perlite aggregated light weight concrete. 7 different mixtures were prepared in volume at 10% ratio by using 3 different expanded perlite aggregate instead of raw perlite aggregate. With prepared light weight concrete mixtures 100x100x100 mm sized cube samples were produced. 28 days compressive strength, unit volume weight and water absorption ratio of these sample were researched. As a result, with suitable characteristic usage of expanded perlite aggregate was understood to be effective on the mechanical and physical properties of perlite aggregated light weight concrete.

Keywords: Perlite aggregate, light-weight concrete, compressive strength, unit volume weight, water absorption ratio

1. GİRİŞ

Gelişen teknolojinin yardımıyla inşaat sektöründeki ihtiyaç ve beklentileri karşılamak amacıyla özel betonların üretimi hız kazanmıştır. Ağır beton, taşıyıcı hafif beton, yüksek akıcılığa sahip beton, yalıtım özellikli beton vb., bu özelliklerden bazılarıdır (1). Betona bu farklı özellikleri kazandırmak, elbette ki betonun geleneksel bileşenlerinin haricinde farklı nitelikteki yapı

malzemelerini karışıma ilave etmekle mümkün olmaktadır (2,3).

Perlit, doğal olarak oluşan silis esaslı volkanik kayadır. Bu kayaların belli aralıklarında kırılmasıyla ham perlit agregası elde edilir. Genleştirilmiş perlit agregası, ham perlitin değişik aralıklı eleklerden geçirilerek boyutlandırıldıktan sonra 900–1100°C' de alev şokunda bünye suyunu kaybetmesi sonucu tane hacmini yaklaşık 7 ile 20 katı kadar artıran beyaz veya gri bir malzemedir (4,5).

Perlitin beton agregası olarak inşaat sektöründe etkin kullanım alanının artırılması, ısı yalıtım özelliği ve hafifliği dolayısıyla ülke ekonomisine ve küresel ısınmaya olumlu yönde katkıda bulunacağı düşünülmektedir. Perlitin özellikleri sayesinde üretilen betonların normal betonlara göre termal açıdan daha iyi performans göstermesi ile enerji etkinliği sağlanır.

Yapılan bir çalışmada %10' dan %80' e kadar genleştirilmiş perlit kullanımının beton içerisinde artı-

Makale 26.04.2010 tarihinde gelmiş, 29.09.2010 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.

H.S.GÖKÇE, Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bayburt, Türkiye

e-posta : sgokce@bayburt.edu.tr

O. ŞİMŞEK, G. DURMUŞ, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

e-posta : simsek@gazi.edu.tr, gdurmus@gazi.edu.tr

İ. DEMİR, Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye

e-posta : ilhamidemir_40@hotmail.com

Digital Object Identifier 10.2339/2010.13.2, 159-163

rılmasıyla ısı iletkenlik değerleri azalmıştır ve bu sayede betonların termal özellikleri iyileşmiştir. Birim hacim ağırlıklarında da benzer azalmalar görülmüş bu sayede yapı ölü yükü azaltılmıştır. Basınç ve eğilme dayanımlarında azalma ve su emme özelliklerinde ise artış elde edilmiştir (6). Beton dayanımdaki düşüşü azaltabilmek için genellikle düşük s/ç oranı ile birlikte mineral ve kimyasal katkı kullanılarak üretilmeleri gerekmektedir (7).

Demirboğa ve Gül (8), %30 uçucu kül + %70 çimento ile üretilen beton numunelerde pomza yerine geliştirilmiş perlit agregası kullanıldığında sertleşmiş beton numunelerinin ısı iletkenliğinin daha düşük çıktığını bulmuşlardır. Türkmen ve Gavgalı, Portland çimentosu yerine %10 silis dumanı+ %20 yüksek fırın cürufu ile üretilen betonların normal betonlara göre en düşük geçirimsizlik katsayısına sahip olduklarını bulmuşlardır (9-11).

Lydon (12), bazı hafif agregalar için beton basınç dayanımının agrega tipine bağlı olduğunu ve beton yoğunluğu ile artış gösterdiğini işaret etmiştir. Topçu (13), Al-Khaiat ve Haque (14) çalışmalarında hafif ağırlıklı agregaların hava boşlukları sayesinde bu malzeme ile üretilmiş betonun daha yüksek dayanım/ağırlık oranına, daha iyi yarmada çekme dayanımı kapasitesine, düşük ısı genleşme katsayısına, üstün nitelikli ısı ve ses yalıtımı özelliklerine sahip olduğunu rapor etmişlerdir. Buna ek olarak Topçu (13), Yaşar ve diğ. (15), betonda hafif ağırlıklı agrega kullanılmasıyla yapının ölü ağırlığının ve kullanılacak demir donatı miktarının azalacağını ortaya koymuşlardır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde geliştirilmiş perlit oranının beton içerisindeki artışı ile termal özellikleri ve hafiflik özelliklerinin iyileştiği anlaşılmaktadır. Ancak aynı betonların dayanım ve su emme gibi mekanik ve fiziksel özellikleri de kötüleşmektedir. Çalışmalarda bu durumu tersine çevirmek için s/ç oranının düşürülmesi, farklı ham perlit karışımları oluşturulması (16), mineral ve kimyasal katkı kullanması önerilmiş ve araştırılmıştır. Bununla birlikte farklı geliştirilmiş perlit agregası özelliklerinin, betonun mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi araştırılmamıştır.

Bu çalışmada, ham perlit agregasının yerine belirli hacimde farklı özellikteki geliştirilmiş perlit agregasının yer değiştirilmesi ile hafif betonlar üretilmiştir. Setleşmiş betonların basınç dayanımı, su emme ve birim hacim ağırlıklarına geliştirilmiş perlit agregalarının etkisi araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

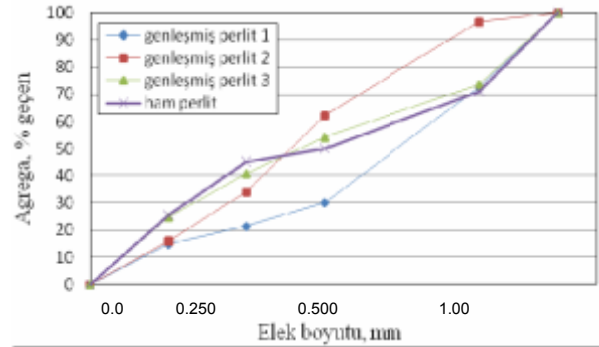
2.1. Materyal

Araştırmada kullanılan ham perlit agregası Pertaş Perlit A.Ş.'den Çubuk/Ankara'dan temin edilmiştir. Ham perlit agregası 0.0–4.75 mm aralıklarda kırılarak elde edilmiştir. Geliştirilmiş perlit agregaları Etiper ve Persa perlit işletmelerinden temin edilmiştir.



Resim 1. Perlit agregalarına ait resimler

Resim 1’de verilen geliştirilmiş perlitler incelendiğinde geliştirilmiş perlit 1 tasnif edilmiş üniform biçimde, geliştirilmiş perlit 2 içinde az miktarda iri perlit olan tüvenan biçimde ve geliştirilmiş perlit 3 içinde çok miktarda iri olan tüvenan biçimde olduğu anlaşılmaktadır. Ham ve geliştirilmiş perlit agregalarına ait tane büyüklüğü dağılımları Şekil 1’de ve yoğunlukları Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Ham ve geliştirilmiş perlit agregalarının elek analizleri

Ham perlit karışımının 2.916, geliştirilmiş perlit 1’in 3.580, geliştirilmiş perlit 2’nin 2.808 ve geliştirilmiş perlit 3’ün 2.986 olarak incelik modülleri hesaplanmıştır.

Tablo 1. Perlit agregalarının yoğunlukları

Özellik	ham perlit	geliştirilmiş perlit 1	geliştirilmiş perlit 2	geliştirilmiş perlit 3
yoğunluk, g/cm ³	2.301	0.076	0.104	0.142

Karışımlarda Ankara Set Çimento fabrikasından temin edilen CEM I 42.5 R çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri ile perlitin kimyasal özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. Beton karışımlarının üretiminde şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

Tablo 2. Çimento ve perlitin özellikleri

Kimyasal özellikleri			CEM I 42.5 R			
Bileşen	CEM I 42.5 R	Ham perlit	Fiziksel özellikleri			
SiO ₂	20.35	71.36	özgül yüzey, cm ² /g	3350		
Al ₂ O ₃	5.98	13.72	genleşme, mm	3		
Fe ₂ O ₃	3.06	3.31	su ihtiyacı, %	27.2		
CaO	63.35	1.58	priz baş., dk.	106		
MgO	1.89	-	priz sonu, dk.	189		
SO ₃	2.89	1.24	yoğunluk, g/cm ³	3.1		
Na ₂ O	0.58	-	CEM I 42.5 R Mekanik özellikleri	Gün	Basınç	Eğilme
K ₂ O	0.88	8.23		7	39.8	7.3
Kız. Kaybı	0.50	2.5	28	51.9	10.1	

2.2. Metot

Araştırmada referans beton üretiminde kullanılan agrega ham perlit agregasıdır. Kullanılan perlit agregasında D_{maks} :4.75 mm olup hazırlanan agrega karışımları ASTM 330 (17) belirtilen sınır değerlere uygun olarak fuller denklemine göre hesaplanmıştır. Karışımlarda çimento dozajı 500 kg/m³ ve s/ç oranı 0.50 olarak sabit tutulmuştur. Toplam agrega hacminin % 10'unu sağlayacak şekilde geliştirilmiş perlit agregaları tek tek ve ayrıca 2' li ve 3' lü geliştirilmiş perlit agrega grupları olarak yer değiştirilmiştir. Grup şeklinde kullanımlarında kendi aralarında eşit hacimde alınmıştır. Çalışmada referans karışımı ile birlikte 8 farklı beton karışımı üretilmiştir. Bütün karışımlar TS 2511

Hazırlanan taze betonlardan her bir grup için 3'er adet olmak üzere TS EN 12350-1 standardına göre toplamda 48 adet numune alınmıştır (19). Sertleşmiş beton numuneler üzerinde TS EN 12390-7 (20) standardına göre birim hacim ağırlık ve su emme, TS EN 12390-3 (21) standardına göre basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada ham perlit agregalı hafif betonlar içerisine hacimce %10 oranında farklı geliştirilmiş perlit kullanımının etkisi araştırılmıştır.

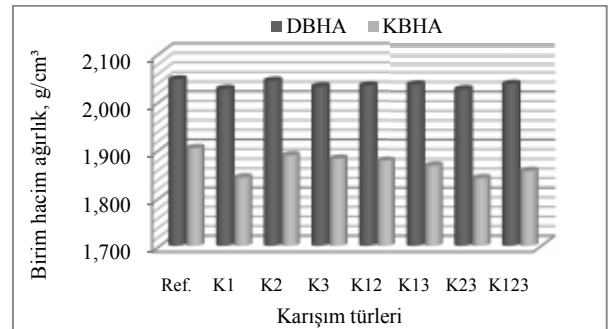
Sertleşmiş beton örnekleri üzerinde belirlenen doymuş birim hacim ağırlık (DBHA) ve kuru birim hacim ağırlık (KBHA) sonuçları Şekil 2' de verilmiştir.

Tablo 3. Beton karışımı malzeme oranları

Kod	Çimento kg/m ³	Su	s/ç	Ham perlit	Genleştirilmiş perlit 1	Genleştirilmiş perlit 2	Genleştirilmiş perlit 3
Ref	500	250	0.50	1308	-	-	-
K ₁	500	250	0.50	1177	4.32	-	-
K ₂	500	250	0.50	1177	-	5.91	-
K ₃	500	250	0.50	1177	-	-	8,08
K ₁₂	500	250	0.50	1177	2.16	2.96	-
K ₁₃	500	250	0.50	1177	2.16	-	4.04
K ₂₃	500	250	0.50	1177	-	2.96	4.04
K ₁₂₃	500	250	0.50	1177	1.44	1.97	2.69

standardındaki belirtilen kurallara uygun olarak gerçekleştirilmiştir (18). Hafif beton üretiminde kullanılan malzeme karışım miktarları kg olarak Tablo 3'de verilmiştir.

Perlitli hafif beton karışımlarının üretimi, 10 dm³ kapasiteli su emmeyen kapta, düşey eksen doğrultusunda, mikser uçlu devirli matkapla topaklaşma kalmayınca kadar yaklaşık 2 dakika boyunca karıştırılarak yapılmıştır. Elde edilen taze betonlar 100x100x100 mm boyutundaki küp numune kalıplarına yerleştirilmiştir. Numuneler 20±2 °C sıcaklık ve % 55-65 bağıl neme sahip laboratuvar ortamında 24 saat bekletildikten sonra kalıptan çıkarılarak 28 gün süreyle kirece doymuş küp havuzunda bekletilmiştir.



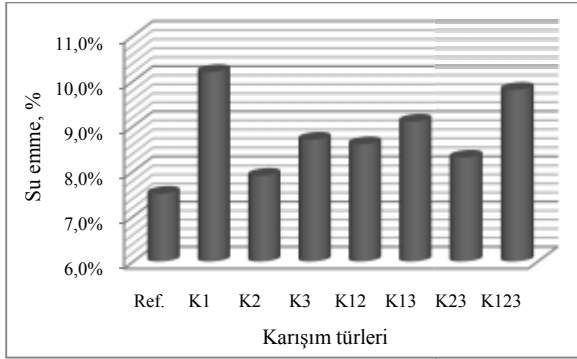
Şekil 2. Sertleşmiş betonların birim hacim ağırlıkları

Şekil 2' den anlaşılacağı üzere en yüksek DBHA ve KBHA değerleri, içerisinde geliştirilmiş perlit bu-

lunmayan referans numunelerinde elde edilmiştir. Bütün numunelerin DBHA' ları 2.026 ile 2.046 g/cm³ arasında, KBHA ise 1.841 ile 1.903 g/cm³ arasında değişmektedir. Dolayısıyla üretilen betonların yoğunlukları 2,000 g/cm³'den küçük olduğundan hafif beton sınıfına girmektedirler (22,23).

Referans numunelerinin DBHA sunucu değerleri ile karşılaştırıldığında, K₁ numuneleri % 1.0, K₂ numuneleri % 0.1, K₃ numuneleri % 0.7, K₁₂ numuneleri % 0.6, K₁₃ numuneleri % 0.5, K₂₃ numuneleri % 1.0, K₁₂₃ numuneleri % 0.4 daha az DBHA'ya sahip olduğu bulunmuştur. Referans numunelerinin KBHA sonucu dikkate alındığında ise, K₁ numuneleri % 3.2, K₂ numuneleri % 0.8, K₃ numuneleri % 1.2, K₁₂ numuneleri % 1.4, K₁₃ numuneleri % 1.9, K₂₃ numuneleri % 3.3, K₁₂₃ numuneleri % 2.5 daha az KBHA'ya sahip olduğu bulunmuştur. Genleştirilmiş perlit agregası kullanılan bütün numunelerin yoğunlukları genleştirilmiş perlit agregası kullanılmayan referans numunesinden daha azdır. Dolayısı ile genleştirilmiş perlit agregası kullanımı betonun yoğunluğunu azaltmaktadır.

Sertleşmiş beton örnekleri üzerinde belirlenen su emme sonuçları Şekil 3' de aşağıda verilmiştir.



Şekil 3. Sertleşmiş betonların su emme oranları

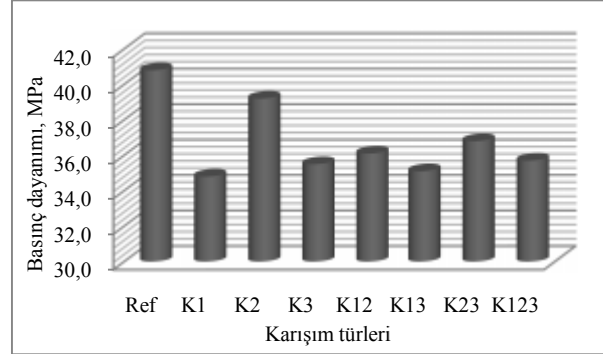
Şekil 3' de gösterilen su emme oranları incelendiğinde en az su emme oranı referans numunelerinde % 7.5 olarak tespit edilmiştir. Referans numunesine göre K₁ numunesi % 36.0, K₂ numunesi % 5.3, K₃ numuneleri % 16.0, K₁₂ numuneleri % 14.7, K₁₃ numuneleri % 21.3, K₂₃ numuneleri % 10.7, K₁₂₃ numuneleri % 30.7 daha fazla su emme oranı elde edilmiştir.

Genleştirilmiş perlit agregası kullanılan bütün numunelerin su emme oranları genleştirilmiş perlit agregası kullanılmayan referans numunesinden daha fazladır. Dolayısı ile genleştirilmiş perlit agregası kullanımı betonun su emme oranını artırmaktadır. Yapılmış çalışmalarda agregadaki su emme özelliğinin, agreganın boşluk yapısından kaynaklı olduğu belirtilmiştir. Agreganın boşluk yapısı arttıkça su emme özelliği artmaktadır (24,25). Agregada oluşan bu artış agreganın kullanıldığı betonda da benzer şekilde olduğunu göstermiştir.

Bütün numunelerde su emme oranlarının referans betonuna göre artmasına rağmen en az artma % 5.3 ile K₂ numunesinde olmuştur. Su emme miktarın fazla olması betonda istenilmeyen bir özelliktir. K₂ numunesinde kullanılan genleştirilmiş perlitin çalışmadaki ham

perlit agregalı hafif beton karışımları için su emme özelliği açısından daha uygun olduğu görülmüştür.

Sertleşmiş beton örnekleri üzerinde belirlenen tek eksenli basınç dayanım değerleri Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Sertleşmiş betonların basınç dayanımları

Şekil 4' de verilen basınç dayanımlarına incelendiğinde en fazla basınç dayanımı referans numunelerinde ortalama 40.8 MPa olarak bulunmuştur. Referans numunesine göre K₁ numunesi % 14.7, K₂ numunesi % 3.9, K₃ numunesi % 13.0, K₁₂ numunesi % 11.5, K₁₃ numunesi % 14.0, K₂₃ numunesi % 9.8, K₁₂₃ numunesi % 12.5 daha az basınç dayanımı elde edilmiştir.

Genleştirilmiş perlit agregası kullanılan bütün numunelerin basınç dayanımları genleştirilmiş perlit agregası kullanılmayan referans numunesinden daha azdır. Dolayısı ile genleştirilmiş perlit agregası kullanımının betonun basınç dayanımını azaltmaktadır.

Bütün numunelerde basınç dayanımının referans betonuna göre azalmasına rağmen en az azalma % 3.9 ile K₂ numunesinde olmuştur. K₂ karışımında kullanılan genleştirilmiş perlitin çalışmadaki ham perlit agregalı hafif beton karışımları için basınç dayanımı açısından daha uygun olduğu görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, ham perlit agregalı betonlar içerisinde genleştirilmiş perlit agregasının etkisi aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Çalışmada elde edilen sertleşmiş betonların yoğunlukları 1.841 ile 1.903 g/cm³ arasında değişmekte ve 2.000 g/cm³'den küçük olduğu için hafif beton sınıfına girmektedir.
2. Beton üretiminde genleştirilmiş perlit agregası kullanımı betonun yoğunluğunu azaltmaktadır.
3. Beton üretiminde genleştirilmiş perlit agregası kullanımı betonun su emme oranını artırmaktadır. Çalışmada en az artış referans betonuna göre % 5.3 ile K₂ numunesinde olmuştur. K₂ numunesinde kullanılan genleştirilmiş perlitin çalışmadaki ham perlit agregalı hafif beton karışımları için su emme özelliği açısından daha uygundur.
4. Betonda genleştirilmiş perlit agregası kullanımı betonun basınç dayanımını azaltmaktadır. Çalışmada en az azalma referans betonuna göre % 3.9

basınç dayanımı farkı ile K_2 numunesinde olmuştur. Genleştirilmiş perlit 2' nin kullanıldığı K_2 karışımında kullanılan genleştirilmiş perlitin çalışmadaki ham perlit agregalı hafif beton karışımları için basınç dayanımı açısından daha uygun olduğu görülmektedir.

5. Sonuç olarak perlit agregalı beton karışımlarında uygun genleştirilmiş perlit agregası seçiminin, betonların birim hacim ağırlık, su emme ve basınç dayanımı gibi özelliklerini olumlu yönde etkilediğini göstermektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Yazıcıoğlu, S., Bozkurt N., Pomza ve Mineral Katkılı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, G.Ü. Müh. Mim. Fak. Der., 21(4), 675-680, 2006.
2. Neville, A., Properties of Concrete, ISBN 0-582-23070-5, 3rd edition, London, 1993.
3. Mindess S., Young J.F and Darwin D., Concrete, Second edition, 2002.
4. Ulusu, İ., Ham Perlit Agregası Kullanılarak Yüksek Dayanımlı Hafif Beton Üretilebilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2007.
5. Gökçe, H.S., Hafif Beton Üretiminde Ham ve Genleştirilmiş Perlitin Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Ankara, 2010.
6. Bulgurcu, H., Genleşmiş Perlit İçeren Çimento ve Alçı Bağlayıcı Yapı Malzemelerin Isıl ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Sivas, 24-27 Haziran 2009.
7. Gesoğlu, M., Özturan, T., Güneysi, E., Shrinkage Cracking of Lightweight Concrete Made with Cold-Bonded Fly Ash Aggregate, Cement and Concrete Research, 34, 1121-1130, 2004.
8. Demirboğa, R., Gül, R., The Effects of Expanded Perlite Aggregate Silica Fume and Fly Ash on the Thermal Conductivity of Light Weight Concrete, Cement and Concrete Research, 33, 723-727, 2002.
9. Türkmen, İ., Gavgalı, M., Influence of Mineral Admixtures on the Some Properties and Corrosion of Steel Embedded in Sodium Sulfate Solution of Concrete, Materials Letters, 57, 3222-3233, 2003.
10. Bilimsel Araştırma Projesi, Genleşmiş Kil Agregalarının Hafif Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi, Proje kodu: 07/2007-25, 2008.
11. Kantarcı, A., Türkmen, İ., Kendiliğinden Yerleşen Betonların Geçirimlilik Katsayısı ve Mekanik Özellikleri Üzerine Farklı Kür Şartlarının ve Genleştirilmiş Perlit Agregasının Etkileri, II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi MBGAK 2005 İstanbul 17-19, 2005.
12. Lydon, F.D., Concrete Mix Design, Applied Science Publishers, 2nd edition, London, 1982.
13. Topcu, İ.B., Semi-Lightweight Concretes Produced by Volcanic Slags, Cement and Concrete Research, 27, 15-21, 1997.
14. Al-Khaiat, H., Haque, M.N., Effect of Initial Curing on Early Strength and Physical Properties of Lightweight Concrete, Cement and Concrete Research, 28, 859-866, 1998.
15. Yaşar, E., Atış, C. D., Kılıç, A., Gülşen, H., Strength Properties of Lightweight Concrete Made with Basaltic Pumice and Fly Ash, Materials Letters, 57, 2267-2270, 2003.
16. Gökçe, H. S., Durmuş, G. ve Şimşek, O. "Alternatif Karışım Oranlarında Üretilen Doğal Perlit Agregalı Hafif Betonların Özelliklerine Su/Çimento Oranının Etkisi", Politeknik Dergisi, 13(1), 55-63, 2010.
17. ASTM C 330-05, Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete, Annual Book of ASTM Standard, December, 2005.
18. TS 2511, Taşıyıcı Hafif Betonların Hesap Esasları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1977.
19. TS EN 12350-1, Beton-Taze Beton Deneyle-Bölüm 1: Numune Alma, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
20. TS EN 12390-7, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyle-Bölüm 7: Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
21. TS EN 12390-3, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyle-Bölüm 3: Dene Numunelerinde Basınç Dayanımı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2003.
22. Topçu, İ.B., Yapı Malzemesi ve Beton, Şahvar Offset, Eskişehir, Türkiye, 2006.
23. Gökçe, H. S. ve Can, Ö., Pomza Agregasının Farklı Zamanlardaki Su Emmelerinin Hafif Betonun Mekanik ve Fiziksel Özelliklerine Etkisi, Politeknik Dergisi, 12(4), 293-298, 2009.
24. Polat, K., Genleştirilmiş Perlit ve Pomza ile Hava Sürükleyici Katkının Betonda Kılcal Geçirimlilik ve Don Hasarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2007.
25. Kömürcü M. Ç., Effect of the Type of Aggregate on the Mechanical Properties of the High Strength Concrete, Master Thesis, Master of Science in Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, 1993